



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SEMIÁRIDO
UNIDADE ACADÊMICA DE TECNOLOGIA DO DESENVOLVIMENTO
CURSO DE ENGENHARIA DE BIOSISTEMAS**

MARIANA DA SILVA DE SIQUEIRA

**AVALIAÇÃO DE CENÁRIOS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO EM UMA
PEQUENA BACIA NÃO INSTRUMENTADA USANDO O MODELO SWAT**

**SUMÉ - PB
2016**

MARIANA DA SILVA DE SIQUEIRA

**AVALIAÇÃO DE CENÁRIOS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO EM UMA
PEQUENA BACIA NÃO INSTRUMENTADA USANDO O MODELO SWAT**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Biosistemas, do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Biosistemas.

Orientador: Prof. Dr. Hugo Morais de Alcântara

**SUMÉ - PB
2016**

S618a Siqueira, Mariana da Silva de.

Avaliação de cenários de uso e ocupação do solo em uma pequena bacia não instrumentada usando o modelo swat. / Mariana da Silva de Siqueira. - Sumé - PB: [s.n], 2016.

41 f.

Orientador: Prof. Dr. Hugo Morais de Alcântara.

Monografia - Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido; Curso de Engenharia de Biosistemas.

1. Bacia hidrográfica. 2. Planejamento ambiental. 3. Administração de recursos hídricos. I. Título.

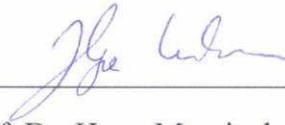
CDU: 556.18 (043.1)

MARIANA DA SILVA DE SIQUEIRA

**AVALIAÇÃO DE CENÁRIOS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO EM UMA
PEQUENA BACIA NÃO INSTRUMENTADA USANDO O MODELO SWAT**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Biosistemas, do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Biosistemas.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Hugo Morais de Alcântara

Orientador – CDSA/UFCG



Prof. Dr. Carina Seixas Maia Dornelas

Examinador – CDSA/UFCG



Prof. Dr. Paulo da Costa Medeiros

Examinador – CDSA/UFCG

Aprovado em: 02 de junho de 2016

A minha mãe Maria Braidá, meu pai Gilvan e meus irmãos Gilliard e Genilson, que sempre estiveram ao meu lado, bem como meus amigos. Com muito carinho,

Dedico

A todos os vovôs e vovós, em especial a Josefa Possidônea (minha mãe Zefa) e a Manoel André, Iracema Ussula e Antônio Galdino em memória, meus queridos avós,

Ofereço

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, pela confiança em todas as minhas decisões e principalmente por contribuírem com amor e compreensão. Aos meus irmãos, pelo amor e amizade que nos une, agradeço a companhia e a forma carinhosa com que compartilhamos nosso tempo.

Ao professor Hugo pela disponibilidade de orientação, apoio, incentivo, ensinamentos, e principalmente pela confiança, paciência e compreensão.

Aos meus tios, tias, primos e primas, agradeço por todo carinho, e em especial a você tia (Jacinete) por ter me acolhido.

A Meiry Siana, minha amiga você sempre está disposta a ouvir e encorajar, seu otimismo me faz levantar para desviar todos os obstáculos, obrigada por permitir que nossa amizade continue a crescer.

A minha madrinha Diana e a sua irmã Durciana, agradeço principalmente por dedicarem um espacinho do seu tempo para demonstrar com lindas ações todo carinho que sentem por mim.

A minha inesquecível professora e madrinha, Maria Tânia, por toda paciência e disponibilidade para transmitir seus conhecimentos em meio às dificuldades de ensinar a alunos com diferentes níveis de escolaridade em uma única sala de aula.

A todos os professores do CDSA, por todos os ensinamentos, contribuição fundamental em todo conhecimento adquirido durante a vida acadêmica. Em especial a Ana Mary, Carina, Daisy, Eloy, Ilza, Joelma, Maria Leide, Normanda, Paulo e George.

A Márcia por sua disponibilidade e colaboração para realização de revisão deste trabalho.

A Carlinhos e a Bárbara Tsuyuguchi agradeço por toda contribuição para o entendimento de processamento das imagens.

A Fabiana por ter sido meu apoio e confiança, durante nossa convivência aprendi respeitar seu jeito, juntas compartilhamos sonhos, angústias e momentos, sendo cada momento único e inesquecível ao seu tempo.

A Maria José, Claudiana e a Aline por todas as conversas e lições de vida e principalmente pela amizade.

Aos amigos de curso, Adilson, Alan, Albetânia, Djair, Elson, Euclides, Iralécio, Izabele, Jailton, Jéssica, Layane, Márcio, Maria Rita, Maykon, Nalva, Paolla, Rafaela, Santana Lívia, Sílvia Maria, Thyago e Welinágila, pessoas maravilhosas que me proporcionaram experiências e aprendizados inesquecíveis. Em especial agradeço a Dayanne, Eric, Helder e Aldair, pelos momentos de emoções, diversão e companheirismo.

Aos membros da banca examinadora por toda contribuição para correção deste trabalho.

Os meus passos são provas de tudo que me ensinou, agradeço por permitir que cada um deles fosse firme, por mostrar que novas escolhas são necessárias para nosso crescimento e por me fazer lembrar que escolhi ter o Senhor sempre ao meu lado.

RESUMO

Em regiões áridas e semiáridas a variabilidade pluviométrica espacial e temporal, as alterações de uso e ocupação do solo, os tipos de solo, as condições climáticas adversas e a ocorrência de chuvas intensas e de curta duração, quando associados a ausência de práticas conservacionistas, influenciam diretamente na geração do escoamento e na produção de sedimentos em bacias hidrográficas. O presente trabalho teve como objetivo avaliar cenários alternativos de uso e ocupação do solo em uma pequena bacia hidrográfica não instrumentadas usando o modelo SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) para fins de planejamento ambiental. Uma sub-bacia da Bacia Experimental de Poço de Pedras, com área de drenagem de 3.23 km², foi escolhida para estimar a lâmina escoada e a produção de sedimentos considerando quatro cenários de uso e ocupação do solo. As características de uso e ocupação dos solos, tipos de solos, topografia e morfologia foram obtidas por meio da classificação supervisionada de imagens do satélite LANDSAT 5. Os resultados obtidos para a perda anual de solo por meio da produção de sedimentos indicam que pequenas intervenções na área da bacia, como a rotação de áreas destinadas a pastagem, permitirão a recomposição natural da vegetação das áreas que forem mantidas em pousio, com consequente redução da produção de sedimentos. Quando comparamos os resultados de lâmina escoada e produção de sedimentos obtidos por meio dos três cenários alternativos de uso e ocupação do solo com o cenário atual, o cenário 1, foi possível observar uma variação de - 89,6% a + 19,0% para a lâmina escoada anual e de - 100,0% a + 20,0% para a produção anual de sedimentos. O modelo de simulação SWAT foi eficaz na estimativa da produção de sedimentos representando bem as diferenças entre as alterações de uso e ocupação do solo para a bacia, apresentando-se como uma importante ferramenta para o planejamento ambiental, visto que, por meio da distribuição espacial da produção de sedimentos podemos identificar as áreas com maior necessidade de intervenção.

Palavras-chave: Modelagem ambiental. Semiárido. Erosão. Uso do solo.

ABSTRACT

In arid regions and semi-arid to spatial and temporal variability and rainfall, as alterations the use and occupation of ground, the kinds of ground and the adverse climatic conditions and the occurrence of intense rains with short duration, when associate the absence of conservationist practices, influence directly in generation of outflow and in the production of sediments into hydrographics basins. The present job have the objective of evaluate sceneries alternatives of occupation of ground into a small hydrographic basin not instrumented using a model SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) for environmental planning purposes. A sub-basin of experimental basin of Poço de Pedras with drainage area of 3,23 km² was chosen to estimate the leak blade and the production of sediments considering four sceneries of use and the occupation of ground. The characteristics of the use and occupation of ground, kinds of ground, topography and morphology, were obtained by supervised classification of images of satellite LANDSAT 5. The results obtained to the annual loss of the ground through the production of sediments indicate that the small interventions in the area of the basin, as the rotation of areas intended to the pastures, will allow the natural recomposition of vegetation in the areas in fallow, with consequent reduction of production of sediments. When we compared the results of drain blades and productions of sediments obtained through three alternatives sceneries of use and the occupation of ground with the actual scenery , the scenery number one, presented a variation of – 89,6% for + 19,0% , for the blade drained annual, and – 100,0% for + 20,0% , for the annual production of sediments. Through the distribution spatial of production of sediments, we can identify areas with the greatest need of intervention.

Keywords: Environmental Modeling. Semi-Arid Region. Erosion. Use of the ground.

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 - Localização da área de estudo	21
Figura 2 - Mapa de cobertura vegetal para a bacia hidrográfica Riacho das Cabras	23
Figura 3 - Mapa de declividade para a bacia hidrográfica Riacho das Cabras	24
Figura 4 - Cenários atual e alternativos de uso e ocupação do solo para a Bacia Riacho das Cabras: Cenário 1 (a), Cenário 2 (b), Cenário 3 (c) e Cenário 4 (d)	27
Figura 5 - Estimativa da produção de sedimentos na Bacia Riacho das Cabras no ano de 1998 para os cenários simulados: cenário 1 (a), cenário 2 (b), cenário 3 (c) e cenário 4 (d)	31
Figura 6 - Estimativa da produção de sedimentos na Bacia Riacho das Cabras no ano de 1999 para os cenários simulados: cenário 1 (a), cenário 2 (b), cenário 3 (c) e cenário 4 (d)	32
Figura 7 - Estimativa da produção de sedimentos na Bacia Riacho das Cabras no ano de 2000 para os cenários simulados: cenário 1 (a), cenário 2 (b), cenário 3 (c) e cenário 4 (d)	32
Figura 8 - Estimativa da produção de sedimentos na Bacia Riacho das Cabras no ano de 2001 para os cenários simulados: cenário 1 (a), cenário 2 (b), cenário 3 (c) e cenário 4 (d)	32
Figura 9 - Estimativa da produção de sedimentos na Bacia Riacho das Cabras no ano de 2002 para os cenários simulados: cenário 1 (a), cenário 2 (b), cenário 3 (c) e cenário 4 (d)	33
Figura 10 - Estimativa da produção de sedimentos na Bacia Riacho das Cabras no ano de 2003 para os cenários simulados: cenário 1 (a), cenário 2 (b), cenário 3 (c) e cenário 4 (d)	33
Figura 11 - Estimativa da produção de sedimentos na Bacia Riacho das Cabras no ano de 2004 para os cenários simulados: cenário 1 (a), cenário 2 (b), cenário 3 (c) e cenário 4 (d)	33
Figura 12 - Estimativa da produção de sedimentos na Bacia Riacho das Cabras no ano de 2005 para os cenários simulados: cenário 1 (a), cenário 2 (b), cenário 3 (c) e cenário 4 (d)	34
Figura 13 - Estimativa da produção de sedimentos na Bacia Riacho das Cabras no ano de 2006 para os cenários simulados: cenário 1 (a), cenário 2 (b), cenário 3 (c) e cenário 4 (d)	34

Figura 14	- Estimativa da produção de sedimentos na Bacia Riacho das Cabras no ano de 2007 para os cenários simulados: cenário 1 (a), cenário 2 (b), cenário 3 (c) e cenário 4 (d)	34
Figura 15	- Estimativa da produção de sedimentos na Bacia Riacho das Cabras no ano de 2008 para os cenários simulados: cenário 1 (a), cenário 2 (b), cenário 3 (c) e cenário 4 (d)	35
Figura 16	- Estimativa da produção de sedimentos na Bacia Riacho das Cabras no ano de 2009 para os cenários simulados: cenário 1 (a), cenário 2 (b), cenário 3 (c) e cenário 4 (d)	35
Figura 17	- Estimativa da produção de sedimentos na Bacia Riacho das Cabras no ano de 2010 para os cenários simulados: cenário 1 (a), cenário 2 (b), cenário 3 (c) e cenário 4 (d)	35
Figura 18	- Estimativa da produção de sedimentos na Bacia Riacho das Cabras no ano de 2011 para os cenários simulados: cenário 1 (a), cenário 2 (b), cenário 3 (c) e cenário 4 (d)	36
Figura 19	- Estimativa da produção de sedimentos na Bacia Riacho das Cabras no ano de 2012 para os cenários simulados: cenário 1 (a), cenário 2 (b), cenário 3 (c) e cenário 4 (d)	36

LISTA DE TABELAS

		Página
Tabela 1	- Parâmetros alterados de cobertura vegetal em relação ao banco de dados do SWAT	23
Tabela 2	- Características físicas e morfológicas da bacia Riacho das Cabras	24
Tabela 3	- Parâmetros e valores de referência utilizados	25
Tabela 4	- Parâmetros relacionados ao processo REVAP modificados	25
Tabela 5	- Parâmetros calibrados para a Bacia Representativa de Sumé, PB	26
Tabela 6	- Valores anuais: Lâmina escoada (Q) e produção anual de sedimentos (PS)	29
Tabela 7	- Variação da lâmina escoada considerando os cenários alternativos de uso e ocupação do solo em relação ao cenário atual	30
Tabela 8	- Variação da carga de sedimentos considerando os cenários alternativos de uso e ocupação do solo em relação ao cenário atual	30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAA	- Caatinga Arbórea Aberta
AAF	- Caatinga Arbórea Arbustiva Fechada
AESA	- Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba
AGNPS	- Agricultural Non-Point Source Pollution Model
ALPHA_BF	- Fator de fluxo de base que determina o número de dias para que o fluxo subterrâneo atinja o canal
BES	- Bacia Experimental de Sumé
BESJC	- Bacia Experimental de São João do Cariri
BLAI	- Índice de área foliar máximo
BRS	- Bacia Representativa de Sumé
CHTMX	- Altura máxima da copa das árvores
CN2	- Valor de curva número da umidade do solo na condição II
EMBRAPA	- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ESCO	- Coeficiente de compensação da evaporação do solo
FRGRW1	- Fração para o primeiro ponto ideal de desenvolvimento da planta em relação ao índice da área foliar
FRGRW2	- Fração para o segundo ponto ideal de desenvolvimento da planta em relação ao índice da área foliar
GW_REVAP	- Coeficiente de REVAP utilizado para promover a ascensão capilar da água
HRU	- Unidade de Resposta Hidrológica
INPE	- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LAIMX1	- Fração do índice de área foliar para o primeiro período de desenvolvimento da planta
LAIMX2	- Fração do índice de área foliar para o primeiro período de desenvolvimento da planta
MDE	- Modelo Digital de Elevação
MESQ	- Honey Mesquite (tipo de cobertura vegetal do banco de dados do SWAT)
RDMX	- Profundidade máxima das raízes
RECHRG_DP	- Fração da água que percola e abastecerá o aquífero subterrâneo profundo
REVAP	- Processo de ascensão pela franja capilar da água que adentra a zona vadosa antes de atingir a recarga subterrânea
REVAPMN	- Valor limite a ser superado pela lâmina que percola para favorecer o processo de REVAP
SIG	- Sistemas de Informações Geográficas
SOL_AWC	- Água disponível no solo
SOL_K	- Condutividade hidráulica saturada
SURLAG	- Coeficiente de retardo do escoamento
SWAT	- Soil and Water Assessment Tool
SWRN	- Range-Southwestern US
USDA	- United States Department of Agriculture

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	14
2.1 GERAL	14
2.2 ESPECÍFICOS	14
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1 SEMIÁRIDO BRASILEIRO	15
3.2 IMPLANTAÇÃO DE BACIAS EXPERIMENTAIS E REPRESENTATIVAS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO	17
3.3 MODELAGEM AMBIENTAL.....	17
3.4 O MODELO DE SIMULAÇÃO AMBIENTAL SWAT (<i>SOIL AND WATER ASSESSMENT TOOL</i>).....	18
3.5 PROCESSAMENTO DE DADOS NO MODELO SWAT	20
4 MATERIAL E MÉTODOS	21
4.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	21
4.1.1 Localização	21
4.1.2 Clima	21
4.1.3 Características físicas e morfológicas	22
4.2 DADOS DE ENTRADA DO MODELO SWAT.....	22
4.3 GERAÇÃO E SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS	25
4.4 LIMITES DE TOLERÂNCIA DE PERDA DE SOLO	27
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
6 CONCLUSÕES	37
7 RECOMENDAÇÕES	37
REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

Em regiões áridas e semiáridas a variabilidade pluviométrica espacial e temporal, as alterações de uso e ocupação do solo, os tipos de solo e as condições climáticas adversas, quando associados a ausência de práticas conservacionistas, influenciam diretamente na geração do escoamento e na produção de sedimentos em bacias hidrográficas. Como consequência da combinação destes fatores a erosão do solo é atualmente um dos problemas ambientais com grande repercussão social, pois altera as características físicas, químicas e biológicas do solo, atuando na redução da capacidade produtiva do solo e da capacidade de armazenamento e da qualidade de água de reservatórios superficiais inviabilizando assim, a manutenção das atividades econômicas tradicionais como a agricultura e pecuária no meio rural.

Estudos experimentais em parcelas de diferentes escalas e microbacias têm sido realizados em diversas partes do mundo para quantificar a perda de solo e a geração do escoamento. Os resultados obtidos nessas áreas, em que é possível a realização de monitoramento de diversos fatores como características do solo, cobertura vegetal, relevo e condicionantes climáticas, facilita o entendimento dos mecanismos e processos que favorecem a erosão. Nem sempre é possível a repetição de condições específicas das alterações de uso e ocupação do solo em bacias e a manutenção destas pesquisas em longo prazo depende do apoio financeiro por meio de agências governamentais e não governamentais de fomento, e nem sempre ocorrem com a frequência necessária.

Neste sentido a utilização de modelos matemáticos de base física usados para a simulação ambiental podem auxiliar consideravelmente o entendimento dos processos erosivos em áreas não instrumentadas quando se recorre ao conceito de regiões hidrologicamente homogêneas.

A aplicação de modelos matemáticos de simulação ambiental tem favorecido o entendimento da dinâmica dos processos erosivos em escala de bacias, sendo uma valiosa ferramenta de previsão de cenários futuros baseados em alterações de uso e ocupação do solo, e podem auxiliar no processo de tomada de decisão de gestores ambientais ou até mesmo de produtores rurais, haja vista a necessidade de um planejamento adequado de uso e ocupação do solo em nível de propriedade rural. Além disso os resultados obtidos por meio das simulações podem auxiliar na avaliação dos impactos de uso e ocupação do solo sobre a geração do escoamento e na estimativa da produção de sedimentos comparando os cenários atual e cenários alternativos além de mudanças climáticas em nível global.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar cenários alternativos de uso e ocupação do solo em uma pequena bacia hidrográfica não instrumentada usando o modelo SWAT para fins de planejamento ambiental.

2.2 Específicos

1. Simular cenários alternativos de uso e ocupação do solo para a estimativa do escoamento superficial e da produção de sedimentos por meio da modelagem ambiental;
2. Avaliar a perda de solo considerando limites de tolerância em níveis regional e mundial;
3. Analisar a distribuição espacial da produção de sedimentos, buscando avaliar influências das características físicas e morfológicas da bacia no comportamento da produção de sedimentos;
4. Avaliar os efeitos das alterações de uso e ocupação do solo buscando a identificação das melhores práticas de gerenciamento dos recursos naturais disponíveis em escala de bacia.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As condições climáticas adversas, a alta variabilidade pluviométrica espacial e temporal, o tipo de cobertura vegetal, o tipo de solo e a existência de eventos anuais intensos em regiões áridas e semiáridas quando associados ao uso e ocupação do solo e as características sociais e econômicas dos produtores rurais influenciam diretamente nos impactos ambientais e no regime hidrossedimentológico de pequenas bacias hidrográficas (SILVA et al., 2011). As questões relacionadas à erosão têm aumentado consideravelmente nos últimos anos, especialmente em regiões semiáridas de países como o Brasil, onde grande parte da população depende de atividades econômicas ligadas à agricultura (SANTOS et al., 2007). A erosão dos solos é extremamente variável temporal e espacialmente, e essa variabilidade deve-se ao fato das diferenças nas condições da superfície, ou seja, das características do solo e das condicionantes climáticas da região, que afetam diretamente o escoamento superficial (SILVA et al., 2011). Este problema tem sido estudado sob diversos contextos, como por exemplo, na avaliação do grau de influência da cobertura vegetal sobre a produção de sedimentos e a degradação dos solos (SANTOS et al., 2007).

De acordo com Srinivasan e Galvão (2003) na região semiárida do Nordeste brasileiro, o processo de erosão superficial do solo tem um significado muito importante, pois implica no início de um processo de perda de nutrientes do solo que pode, eventualmente, terminar em desertificação. Além disso, os excedentes hídricos que chegam até a rede de drenagem da bacia hidrográfica transportam sedimentos, nutrientes e agroquímicos que contaminam as águas superficiais (GALHARTE et al., 2014). Diante do exposto, fica evidente que as regiões semiáridas apresentam alto grau de suscetibilidade aos processos erosivos.

Galharte et al. (2014) destacam que em locais onde ocorrem os processos erosivos observa-se a perda da capacidade produtiva, em consequência da remoção dos horizontes superficiais. Em regiões áridas e semiáridas, reconhecidamente sujeitas à escassez hídrica, e com ocorrência de solos jovens com maior susceptibilidade a processos erosivos, o conhecimento dos processos hidrossedimentológicos é fundamental para a permanência e sobrevivência do homem no campo (SANTOS et al., 2012).

3.1 Semiárido brasileiro

No Brasil, as zonas áridas, semiáridas e sub-úmidas secas estão restritas à região Nordeste, com exceção de uma pequena parte do norte de Minas Gerais, sendo a região semiárida brasileira uma das maiores e mais densamente habitada do mundo (SAMPAIO et

al., 2005a; SAMPAIO et al., 2005b; INSA, 2011). De acordo Santos et al. (2007), existem várias regiões semiáridas no planeta, entretanto, nenhuma destas possui a pluviosidade, a extensão e a densidade populacional do semiárido do Nordeste brasileiro.

Em 10 de março de 2005, por meio da portaria nº 89/2005, o Ministério da Integração Nacional (BRASIL, 2005) instituiu uma nova delimitação do Semiárido brasileiro, tomando por base três critérios técnicos: precipitação média anual inferior ou igual a 800 mm; índice de aridez de até 0,5, calculado pelo balanço hídrico que relaciona a precipitação e a evapotranspiração potencial, no período entre 1961 e 1990; e risco de seca maior que 60%, tomando-se por base o período de 1970 a 1990. Com base nesses critérios a área territorial do Semiárido brasileiro é de 980.133,07 km², compreendendo aproximadamente um total de 12% do território brasileiro e, sendo composto por 1.135 municípios, dos estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Norte de Minas Gerais, totalizando uma população de 22.598.318 milhões de pessoas (11,85% do total de habitantes do país), 38% destas residindo na zona rural (SANTOS et al., 2014).

A paisagem desta região é dominada pela mata branca, ou na língua indígena, “Caatinga”, sendo um dos maiores biomas, único bioma exclusivamente brasileiro e ocupando além das áreas definidas como Semiáridas dos oito estados do Nordeste e parte do norte de Minas Gerais. O Bioma Caatinga possui uma área de 850.000 km², aproximadamente 10% do território nacional. (MEDEIROS et al., 2011; SANTOS et al., 2014). As regiões semiáridas compreendem áreas muito sensíveis às alterações de uso e ocupação do solo. Os fatores determinantes para os efeitos do desequilíbrio ambiental da região semiárida brasileira, associados aos processos de desertificação, têm sido apontados pelo uso indiscriminado de madeira, lenha e carvão para manutenção de matrizes energéticas, o pastejo intensivo de animais, as queimadas, o uso e o manejo das terras para agricultura, e a ausência de práticas de caráter conservacionista (SAMPAIO et al., 2003).

O semiárido nordestino nos seus aspectos climáticos é uma região caracterizada por grande variabilidade espacial e temporal das precipitações com médias anuais que podem variar de 400 a 2.000 mm, concentradas em um único e curto período de tempo, geralmente de três a cinco meses entre janeiro e maio, sendo observados períodos de estiagem prolongados de sete a nove meses por ano, podendo chegar até 18 meses de duração. As precipitações são de verão (dezembro-fevereiro) e de outono (março-maio), tendo o Sul do semiárido nordestino, maior precipitação de verão e a parcela setentrional precipitações de outono (MEDEIROS et al., 2011). Apresenta altas temperaturas que no decorrer do ano

variam de 23 a 27 °C, estando a maior parte do ano exposto à forte insolação e elevado déficit hídrico (ARAÚJO et al., 2010).

3.2 Implantação de bacias experimentais e representativas no semiárido brasileiro

Segundo Eshleman (2004), o desenvolvimento e aplicação de estudos em pequenas bacias hidrográficas iniciaram na década de 50 do século passado. Devido à necessidade de estudos hidrológicos de longo prazo em ambientes específicos, como é o caso do semiárido nordestino, várias bacias representativas e experimentais foram implantadas na região Nordeste do Brasil, nas décadas de 1970 e 1980, e mais recentemente, na década de 2000 (SANTOS et al., 2007; SANTOS et al., 2012).

As bacias experimentais foram instaladas no semiárido nordestino, com o objetivo de servir como fonte de informações para estudos sobre os impactos das modificações do meio ambiente e para o conhecimento do comportamento hidrossedimentológico nessa região (TAVEIRA, 2012). Vários estudos experimentais foram realizados simultaneamente em diversos estados do Nordeste com a implantação de unidades experimentais, mas a divulgação sistematizada dos resultados e a avaliação da necessidade de novas investigações pela comunidade científica não aconteceram de maneira organizada, resultando na desmotivação, desinteresse, falta de recursos e paralisação total ou parcial das atividades realizadas (SRINIVASAN e GALVÃO, 2003).

No Estado da Paraíba a Bacia Experimental de Sumé (BES) atualmente desativada fez parte deste grupo de bacias instaladas no Nordeste do Brasil. Os estudos realizados nessa bacia obtiveram um dos mais importantes bancos de dados de escoamento e erosão (SRINIVASAN et al., 2003). Atualmente os estudos experimentais na Bacia Experimental de São João do Cariri dão continuidade às atividades de pesquisa realizados na mesma região hidrológica da Bacia Experimental de Sumé (SANTOS et al., 2007).

3.3 Modelagem ambiental

De acordo com Christofletti (1999) entre as diversas técnicas que servem de suporte à elaboração de estudos sobre as relações ocorrentes nos sistemas ambientais, ecológicos, econômicos e sociais destaca-se a função da modelagem. Na perspectiva de gerenciamento dos recursos hídricos a modelagem ambiental é uma poderosa ferramenta para previsão hidrossedimentológica, tanto na avaliação dos impactos das alterações climáticas e de uso e ocupação do solo quanto na identificação e seleção de potenciais estratégias para o controle e redução dos processos erosivos em pequenas bacias hidrográficas.

Os impactos ambientais em áreas de bacias podem ser identificados com maior facilidade com o uso de modelos de simulação ambiental (MEDEIROS et al., 2013). Os modelos são empregados para avaliar os efeitos que se desenvolvem em amplo espectro de fenômenos, tais como no tocante às mudanças no uso das terras, emissão de poluentes, mudanças climáticas, modificações nos canais fluviais, mudanças nas condições de estuários, erosão litorânea, uso de produtos químicos na agricultura, manejo de bacias hidrográficas e deposição ácida. O mesmo ocorre no setor da avaliação tecnológica e da avaliação social. (MACHADO et al., 2003). Contudo, para que se tenha sucesso na aplicação de modelos de predição de erosão no planejamento de uso da terra ou controle do processo erosivo, deve-se levar em conta critérios importantes que dizem respeito á sua aplicabilidade, como por exemplo, erosão em vertentes, em voçorocas, aporte e sedimentos em bacias, a estrutura do modelo, aos dados disponíveis e ao custo de sua obtenção (MACHADO, 2002).

Nas últimas décadas, a modelagem tem se destacado por possibilitar a realização da predição de funcionamento de diversos sistemas naturais incluindo as bacias hidrográficas. Os modelos distribuídos de base física vêm sendo amplamente utilizados em estudos de avaliação do comportamento e impactos das mudanças do uso do solo e suas influências nos processos de perdas de água e de solo como: escoamentos superficial e subterrâneo, desprendimento, transporte e deposição de sedimentos em bacias hidrográficas (SILVA e SANTOS, 2008).

Os modelos matemáticos são ferramentas muito importantes e úteis para previsão ou simulação nos processos hidrológicos e sedimentológicos (SRINIVASAN et al., 2003). Vários são os modelos de base física e que consideram a variabilidade espacial, entre eles o modelo “*Soil and Water Assessment Tool*” (SWAT) tem sido largamente utilizado em diversas partes do mundo, pois pode prever impactos gerados por alterações de uso e ocupação do solo no meio urbano e rural (NETO et al., 2011).

3.4 O modelo de simulação ambiental SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*)

O modelo Soil and Water Assessment Tool (SWAT) foi desenvolvido no início dos anos 90 pelo Dr. Jeff Arnold do United States Department of Agriculture (USDA) para auxiliar os gestores de recursos hídricos na avaliação de impactos de manejo e clima no abastecimento de água e na poluição de fontes não pontuais em bacias hidrográficas (ARNOLD et al., 1998). De acordo com Andriolo et al. (2008) o SWAT incorpora grande parte dos avanços contidos nos modelos anteriores, e objetiva predizer o impacto do uso e manejo do solo sobre o ciclo hidrológico, o transporte de sedimento e a qualidade da água em grandes e complexas bacias hidrográficas, considerando longos períodos de tempo. Desde que

iniciou seu desenvolvimento, início da década de 1990, o SWAT passou por várias versões as quais aumentaram a sua capacidade de processamento, como por exemplo, o SWAT94.2 que incorporou múltiplas unidades de resposta hidrológica, HRU, e o SWAT2000 que incorporou os métodos de *Green & Ampt* e de *Muskingum* para simulação do escoamento superficial e da propagação da água pelos canais, respectivamente (SALLES, 2012).

O SWAT é um modelo matemático de simulação hidrológica hidrossedimentológica, de base física, distribuído, conceitual e empírico capaz de representar processos físicos que ocorrem em bacias hidrográficas, gerando informações não comumente disponíveis, importantes no processo de tomada de decisões, com intuito de gerenciamento e planejamento de recursos hídricos. Segundo Tripathi et al., (2003) entre os modelos aplicados para modelagem ambiental, o “Soil and Water Assessment Tool” (SWAT) é o mais recente, utilizado com sucesso na simulação do escoamento, das cargas de sedimentos e da qualidade da água de pequenas bacias hidrográficas. Esse modelo possui características que permitem a simulação de cenários de uso e ocupação de solo para a geração de escoamento superficial e de produção de sedimentos, fatores que estão intimamente associados ao assoreamento de rios e reservatórios superficiais, bem como da redução da qualidade da água presentes nesses ambientes (ALCÂNTARA, 2013).

O SWAT apresenta algumas limitações, como o fato de utilizar a Equação Modificada de Perda de Solo (MEUPS) para o cálculo da produção de sedimentos na bacia, esta equação se processa na sua maior parte como erosão laminar (MACHADO, 2002). A EUPS-M possui o fator de escoamento superficial, estimado para cada evento de precipitação, e considera características referentes ao solo, cobertura vegetal e manejo além da topografia do terreno (NETO et al., 2011). O SWAT utiliza a MUSLE para calcular o aporte de sedimentos em cada unidade de resposta hidrológica (UZEIKA, 2009).

Neto et al. (2011) usaram o SWAT para o estudo de cenários hipotéticos na Bacia Hidrográfica do Riacho dos Namorados no cariri paraibano com o objetivo de analisar o escoamento superficial e a produção de sedimentos para diferentes cenários de cobertura vegetal, onde foi possível identificar que a simulação com o modelo SWAT ofereceu resultados coerentes nos processos de escoamento superficial e aporte de sedimentos, assegurando a sua eficiência e enaltecendo a importância do estudo de cenários nos processos decisórios.

Medeiros et al. (2013) realizaram estudos usando dados de alta resolução espacial, por meio da modelagem computacional com o objetivo de simular a produção de sedimentos na BESJC, nesses estudos utilizam os dados hidroclimatológicos e de produção de sedimentos da

Sub-bacia 2, uma das quatro Sub-bacias existentes e obtiveram resultados que demonstraram a eficácia do modelo para a análise da produção de sedimentos como um todo, mas destacaram que o modelo não correspondeu às expectativas enquanto análise diária.

3.5 Processamento de dados no modelo SWAT

De acordo com Lelis e Calijuri (2010) existe uma série de dados tabulares relacionados ao solo, clima, fisiologia de culturas e tipos de ocupações agrícolas e práticas de manejo do solo que devem ser fornecidos ao modelo. Segundo Arnold et al. (1998), o modelo SWAT não requer calibração, caso não existam informações disponíveis e de qualidade, como é o caso de trabalhos realizados utilizando bacias não instrumentadas como unidades de estudo.

Independente do tipo de estudo realizado com o SWAT, o seu funcionamento será sempre em função do balanço hídrico existente na bacia hidrográfica (SALLES, 2012). Inicialmente, para a simulação, o SWAT demanda o modelo Digital de Elevação (MDE) da bacia hidrográfica, este fornece informações suficientes para que em um ambiente SIG sejam analisadas as declividades do terreno, estabelecendo a direção do fluxo superficial e dessa forma, torna-se possível obter a rede de drenagem, a delimitação e a discretização em sub-bacias (TAVEIRA, 2012; GALHARTE et al., 2014). A inserção do mapa de uso e cobertura do solo e do mapa de pedologia permite que seja realizada a subdivisão e o agrupamento por meio da sobreposição destes mapas em Unidades de Resposta Hidrológica (HRU's), estas por sua vez, possuem uma única combinação uso e ocupação, tipo de solo e topografia. A realização do balanço hídrico em cada Unidade de Resposta Hidrológica (HRU) gerada por meio do SWAT será sempre em função dos dados climatológicos. De acordo com Arnold et al. (1998), o escoamento é calculado para cada HRU e propagado para obter o escoamento total para a sub-bacia, o que aumenta a precisão das predições e fornece uma melhor descrição física do balanço hídrico na bacia.

Por ser o SWAT um modelo distribuído e de base física com associação direta a um sistema de informações geográficas há possibilidade de apresentação dos resultados da estimativa da produção de sedimentos por meio da representação em mapas. Dessa forma, representa uma importante ferramenta nos estudos de avaliação do comportamento hidrológico de bacias hidrográficas mediante os impactos das mudanças do uso e ocupação do solo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

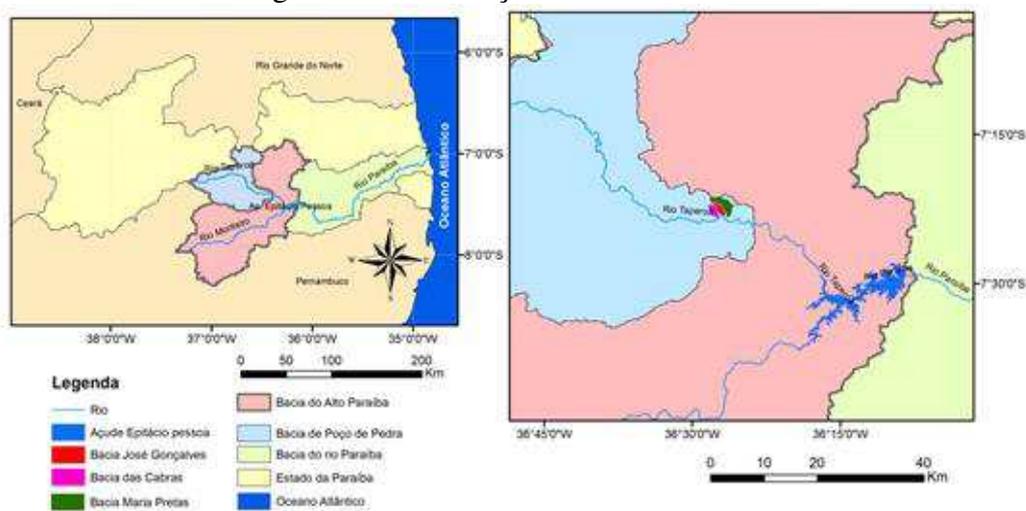
4.1 Descrição da área de estudo

4.1.1 Localização

A seção final da Bacia Experimental de Poço de Pedras está localizada na cidade de São João do Cariri semiárido paraibano, Nordeste do Brasil na região dos Cariris Velhos, inserida na Mesorregião da Borborema e Microrregião do Cariri Oriental, na parte centro-sul da Paraíba, é uma das sub-bacias da Bacia Representativa e Experimental do rio Taperoá, uma das bacias hidrográficas mais importantes do estado da Paraíba. A bacia do Rio Taperoá drena uma área de 5.667,0 km², a sub-bacia de Poço de Pedras possui área de 3.144,0 km² e está localizada entre as latitudes 06°51'31" e 07°34'21" S e entre as longitudes 36°00'55" e 37°13'09" W (ARAÚJO et al., 2006). Uma pequena bacia hidrográfica integrante da bacia experimental de Poço de Pedras, a bacia do Riacho das Cabras com área de drenagem de 3,23 km², foi escolhida para estimativa da lâmina escoada e da produção de sedimentos por meio do SWAT considerando o uso e ocupação do solo atual e três cenários alternativos.

Na Figura 1 podemos observar a localização da Bacia Experimental de Poço de Pedras e da bacia denominada Riacho das Cabras, sub-bacia da bacia hidrográfica do Rio Paraíba.

Figura 1 – Localização da área de estudo



Fonte: Alcântara et al. (2011)

4.1.2 Clima

A Bacia Riacho das Cabras encontra-se na mesma região hidrológica da Bacia Representativa de Sumé (BRS) que apresenta o tipo climático Bsh, segundo a classificação climática de Köppen, que se caracteriza por ser seco e quente (semiárido quente com chuvas de verão) e por apresentar insuficiência e irregularidade das precipitações pluviais e ocorrência de temperaturas elevadas (CADIER et al., 1983; SOUSA, 2011). A distribuição

espacial e temporal da precipitação é muito irregular, as chuvas são concentradas em um único período, geralmente de três a cinco meses. Cadier (1994) destaca para BES que como em toda a zona norte do Sertão, a estação das chuvas concentra-se em março, começando em geral entre janeiro e março, terminando em maio. De acordo com Araújo et al. (2010), as temperaturas médias mensais observadas para BESJC oscilam entre 27,2 e 23,1 °C, precipitação média de 400 mm/ano e umidade relativa do ar de aproximadamente 70%. Nas regiões semiáridas são observados períodos de estiagem prolongados de sete a nove meses por ano, podendo chegar até 18 meses de duração (MENDES, 1992).

4.1.3 Características físicas e morfológicas

A geologia da área em que está situado o município de São João Cariri está constituída pelo embasamento cristalino de idade Pré-Cambriana, onde predominam gnaisses, migmatitos e granitos (ARAÚJO et al., 2010). As Bacias Experimentais de São João do Cariri e de Poço de Pedras são caracterizadas pela presença de solos jovens, pouco porosos e predominantemente plásticos, susceptíveis à erosão, devido ao subsolo derivado do embasamento cristalino. Os principais tipos de solos encontrados na região são: Luvisolo Crômico Órtico, Vertissolo e Neossolo Lítico, com horizonte A fraco e textura argilosa. A vegetação correspondente à cobertura vegetal da bacia embora de predominância xerófila e hiperverófila, é extremamente diversificada, identificando-se para o Semiárido a formação predominante a Caatinga com vegetação caducifólia espinhosa típica desta região do Nordeste brasileiro, o relevo é bastante ondulado, com altitudes variando de 450 a 700 m. (CHAVES et al, 2000).

4.2 Dados de entrada do modelo SWAT

Para utilização do modelo de simulação SWAT são necessários dados específicos, sendo indispensáveis, informações sobre o uso e ocupação do solo, relevo e os tipos de solo da área de estudo. Os processos físicos associados ao movimento da água, movimento dos sedimentos, crescimento das culturas, ciclagem de nutrientes, entre outros, são diretamente modelados utilizando esses dados de entrada (ARNOLD et al., 1998).

Dados climatológicos do acervo da base de dados da Bacia Experimental de São João do Cariri, PB, obtidos através de monitoramento nas estações climatológicas de superfície convencional e automática, além de empregados como dados básicos para a realização do balanço hídrico em cada unidade de resposta hidrológica gerada por meio do SWAT foram utilizados para avaliar condições climáticas locais.

As características de uso e ocupação do solo foram obtidas a partir da classificação supervisionada de imagens do satélite LANDSAT 5, A imagem utilizada é referente à passagem do satélite no dia 29 de julho de 2005 e foi adquirida junto a Divisão de Geração de Imagens (DGI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Quatro classes de cobertura vegetal foram identificadas após o processamento da imagem sendo consideradas como Caatinga Arbórea Arbustiva Fechada (AAF), Caatinga Arbórea Aberta (AAA), Honey Mesquite (MESQ) e Range-Southwestern US (SWRN).

A Tabela 1 mostra os valores dos parâmetros alterados por Alcântara, (2013) para as coberturas vegetais AAF e AAA utilizadas nas simulações. Na base de dados da interface ArcSWAT há informações referentes à *Prosopis glandulosa*, cuja denominação é “*honey mesquite*”, e fez-se analogia com a Algaroba por se tratar de espécies do mesmo gênero (NETO et al., 2011). A cobertura Range-Southwestern US (SWRN), já possui parâmetros inseridos na base de dados do modelo e foi selecionada por apresentar semelhança com as condições de áreas com solo exposto.

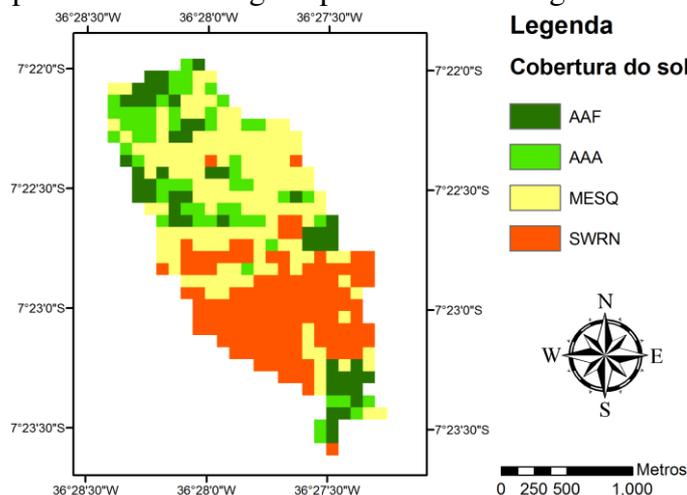
Tabela 1 – Parâmetros alterados de cobertura vegetal em relação ao banco de dados do SWAT

Cobertura vegetal	Parâmetro						
	BLAI (m ² .m ⁻²)	FRGR W1 (fraction)	FRGR W2 (fraction)	LAIMX1 (fraction)	LAIMX2 (fraction)	CHTMX (m)	RDMX (m)
Caatinga Arbórea Arbustiva Fechada	5,00	0,15	0,25	0,15	0,85	8,0	3,5
Caatinga Arbórea Arbustiva Aberta	1,25	0,05	0,40	0,05	0,95	6,0	3,0

Fonte: Alcântara (2013)

A Figura 2 indica o mapa de cobertura vegetal resultante do processo de classificação que também é utilizado como dado de entrada no modelo SWAT para a estimativa da erosão e produção de sedimentos.

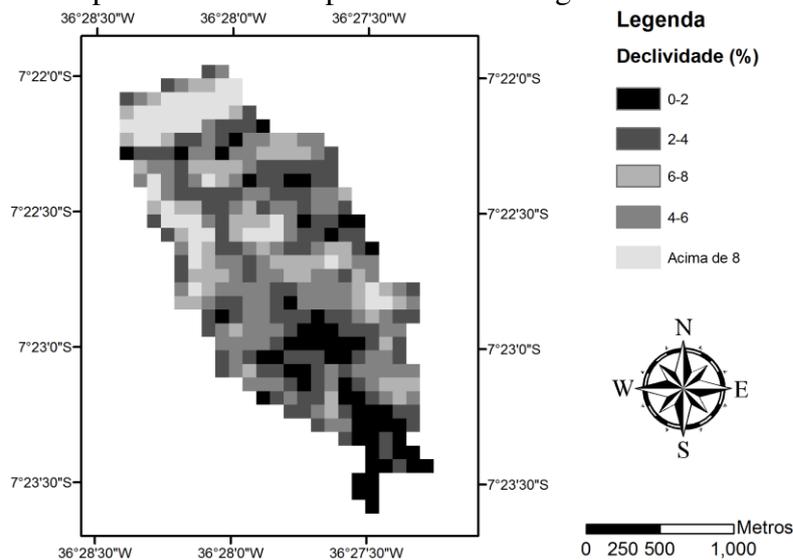
Figura 2 – Mapa de cobertura vegetal para a bacia hidrográfica Riacho das Cabras



Fonte: da própria autora

As características físicas e morfológicas da bacia hidrográfica em estudo foram obtidas do Modelo Digital de Elevação gerado pelo projeto TOPODATA (VALERIANO, 2004), que oferece dados topográficos e suas derivações básicas em cobertura nacional, ora elaborados a partir dos dados SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) além de mapas topográficos produzidos em levantamentos de campo na Bacia Representativa do Rio Taperoá. A Figura 3 indica o mapa resultante da classificação da declividade para a área da bacia e a Tabela 2 apresenta algumas características da bacia Riacho das Cabras

Figura 3 – Mapa de declividade para a bacia hidrográfica Riacho das Cabras



Fonte: da própria autora

Tabela 2 – Características físicas e morfológicas da bacia Riacho das Cabras

Características	Valor
Área (km ²)	3.23
Perímetro (km)	8.71
Comprimento axial (km)	2.97
Índice de compacidade	1.64
Índice de forma	0.25
Densidade de drenagem (km.km ⁻¹)	3.14
Altitude máxima (m)	513
Altitude média (m)	455
Altitude mínima (m)	422

Fonte: da própria autora

No levantamento exploratório da EMBRAPA (1999) e disponibilizado por meio da AESA (PARAIBA, 2004), apenas o Luvissole Crômico Órtico típico está presente na área da bacia do Riacho das Cabras. As classes de solos encontradas no Estado da Paraíba foram disponibilizadas por meio da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba

(AESA), foram geradas a partir do uso de imagens LANDSAT (escala 1:100.000) com apoio de fotografias aéreas (1:70.000) e trabalho de campo.

Lopes (2003) determinou a condutividade hidráulica saturada para as manchas de solos da BRS encontrando o valor de 3,5 mm/h para o solo Luvisolo Crômico Órtico. A definição do grupo hidrológico associado à pedologia da bacia foi estabelecida de acordo com os valores de condutividade hidráulica saturada estabelecida por Lopes (2003) para a BES. Desta forma, o solo do tipo Luvisolo Crômico Órtico típico foi inserido no grupo hidrológico C. A porosidade foi determinada por Rawls et al. (1982) com valor de 0,398. De acordo com Neto (2011) a densidade aparente e o albedo foram estabelecidos como sendo 1,65 g/cm³ e 0,17 respectivamente. A tabela 3 apresenta os parâmetros e valores de referência utilizados.

Tabela 3 – Parâmetros e valores de referência utilizados

Parâmetros	Valor adotado	Referência
Condutividade hidráulica saturada do solo	3,5 mm/h	LOPES, 2003.
Grupo hidrológico do solo	C	LOPES, 2003.
Porosidade do solo	0,398	RAWLS, 1982.
Densidade aparente	1,65 g/cm ³	NETO, 2011.
Albedo	0,17	NETO, 2011.

Fonte: modificado de Taveira (2012)

4.3 Geração e simulação de cenários

A parametrização do modelo para a bacia foi realizada com base no banco de dados de parâmetros do SWAT e de calibração do mesmo modelo para a Bacia Representativa de Sumé, sub-bacia de Umburana, da mesma região hidrológica (TAVEIRA, 2012). A caracterização pedológica realizada para as BES e BESJC indica que não há escoamento de base e desta forma os parâmetros que definem a quantidade de água que recarrega os aquíferos foram minimizados (ALCÂNTARA, 2013). A Tabela 4 apresenta os parâmetros relacionados a este processo, que foram modificados.

Tabela 4 – Parâmetros relacionados ao processo REVAP modificados

Parâmetro	Definição	Valor adotado
ALPHA_BF	Fator de fluxo de base que determina o número de dias para que o fluxo subterrâneo atinja o canal	0
GW_REVAP	Coefficiente de REVAP utilizado para promover a ascensão capilar da água	0.2
REVAPMN	Valor limite a ser superado pela lâmina que percola para favorecer o processo de REVAP	0
RECHRG_DP	Fração da água que percola e abastecerá o aquífero subterrâneo profundo	0

Fonte: Taveira (2012)

Os valores dos parâmetros alterados em relação ao banco de dados do SWAT estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Parâmetros calibrados para a Bacia Representativa de Sumé, PB

Parâmetro	Definição	Valor adotado
ESCO	Coefficiente de compensação da evaporação do solo	0.1
SOL_AWC	Água disponível no solo	0.4 mm/mm
CN2	Valor de curva número da umidade do solo na condição II	72
SURLAG	Coefficiente de retardo do escoamento	8 dias
SOL_K	Condutividade hidráulica saturada	4 mm/h

Fonte: Alcântara (2013)

Para realização da simulação do escoamento e da produção de sedimentos, por meio do SWAT considerando os cenários de uso e ocupação do solo foi utilizada uma série pluviométrica observada nas estações climatológicas de superfície e automática da Estação Experimental de São João do Cariri, PB, de dezoito anos de dados, que contemplou o período de 1995 a 2012.

O SWAT utiliza um período de aquecimento que segundo Cibin et al. (2010) tem a finalidade de estabilizar o modelo durante seus processos interativos iniciais minimizando as incertezas para a obtenção dos resultados. Neste trabalho o período de aquecimento utilizado foi de três anos e sendo assim, a série de resultados de erosão e produção de sedimentos estabelecida foi de quinze anos compreendendo o período de 1998 a 2012.

Foram montados e simulados quatro cenários de uso e ocupação do solo incluindo o cenário correspondente ao período de trabalhos de campo realizados por Alcântara (2013) para a Bacia do Riacho das Cabras, considerando alterações nas classes de cobertura do solo.

Os Cenários descritos a seguir foram definidos buscando a substituição de um tipo de uso e ocupação do solo com menor cobertura vegetal por um tipo de uso com maior cobertura vegetal e a substituição de um tipo de uso com maior cobertura vegetal por um tipo de uso com menor cobertura vegetal.

Inicialmente foram simuladas as situações encontradas na época da realização dos trabalhos de campo, cenário denominado de Cenário 1.

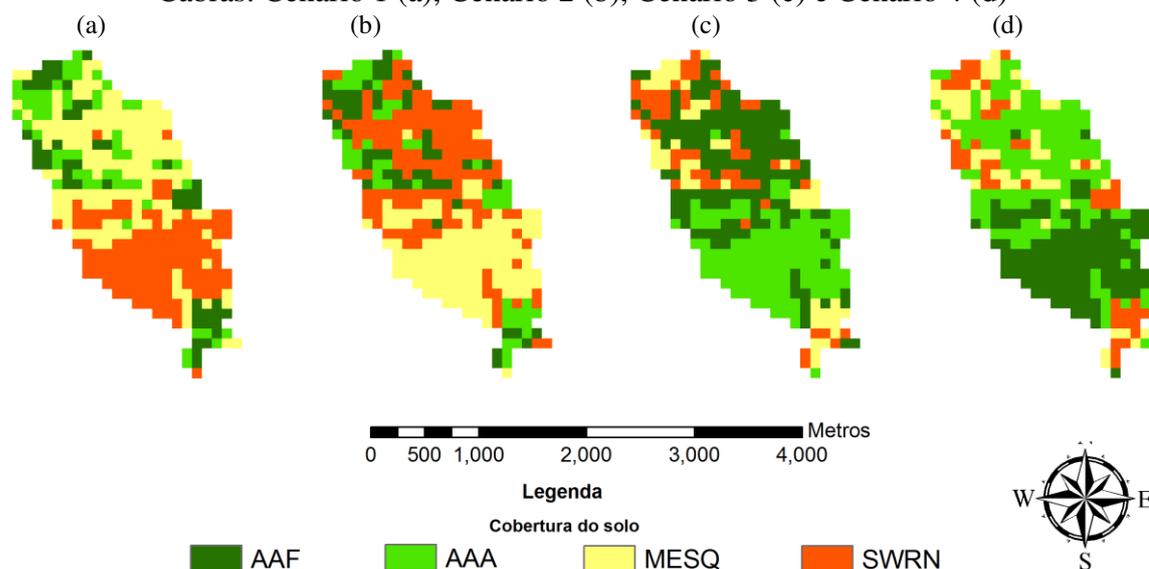
No cenário 2 foram realizadas permutas entre os tipos de cobertura vegetal denominada de caatinga arbórea arbustiva fechada (AAF) e a caatinga arbórea arbustiva aberta (AAA), e entre (MESQ) e (SWRN).

Para o Cenário 3 foram consideradas alterações da vegetação AAF por MESQ, AAA por SWRN, e as áreas com os tipos de coberturas vegetais MESQ e SWRN por AAF e AAA, respectivamente.

No cenário 4 as coberturas vegetais do tipo AAF e AAA que abrangem as menores áreas da bacia foram substituídas por SWRN e MESQ, e as coberturas vegetais MESQ e SWRN foram substituídos por AAA e AAF, dessa forma uma maior área da bacia para a simulação apresentou cobertura mais densa em comparação com os cenários 2 e 3.

Na Figura 4 são apresentados os quatro cenários propostos e simulados por meio do SWAT para a bacia hidrográfica Riacho das Cabras.

Figura 4 – Cenários atual e alternativos de uso e ocupação do solo para a Bacia Riacho das Cabras: Cenário 1 (a), Cenário 2 (b), Cenário 3 (c) e Cenário 4 (d)



Fonte: da própria autora

4.4 Limites de tolerância de perda de solo

Uma das grandes preocupações das Instituições de Ensino e Pesquisa bem como para a Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO) é a indicação de valores limites que podem ser considerados como aceitáveis de perda de solo de acordo com o tipo de solo presente em áreas produtivas. Segundo a FAO (1965), para solos profundos e bem drenados são considerados como aceitáveis de perdas de solo de $12,0 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ e para solos pouco profundos e de baixa permeabilidade os limites de $2,0$ a $4,0 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ são aceitáveis. Limites de tolerância de perda de solo por erosão para solos rasos e de baixa permeabilidade foram estabelecidos para solos dos Estados Unidos variando entre $4,5$ a $11,5 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ (WISCHMEIER e SMITH, 1978). Para Hudson (1995), o limite superior de tolerância de perda de solo determinado para 51 tipos de solo nos Estados Unidos é igual a $11,2 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$. Oliveira et al. (2008) identificaram limites de tolerância de perda de solo no estado da Paraíba, Nordeste do Brasil, para os Luvisolos e Neossolos, variando entre $5,41$ e $6,3 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a série pluviométrica utilizada para as simulações, com quinze anos de dados de chuva, apenas cinco anos apresentaram totais anuais precipitados abaixo da média histórica para a região do Cariri paraibano, que é de 400 mm, e apenas dois anos apresentaram totais anuais precipitados em torno da média. Sendo assim, da série pluviométrica utilizada oito anos apresentam totais precipitados anuais acima da média e foram considerados como anos úmidos.

Para os anos classificados como secos 1998, 1999, 2003, 2007 e 2012 os totais precipitados representam de 0,31 a 0,90 vezes o valor anual da média histórica. Para os dois anos em que se observaram totais anuais precipitados em torno da média, 2001 e 2006, que representam 0,99 e 1,04 vezes acima da média histórica da precipitação anual, foi possível observar pequenos valores de lâmina escoada e produção de sedimentos que não ultrapassam os limites de tolerância de perda de solo estabelecidos em nível mundial. Para os anos com precipitações acima da média histórica, classificados como úmidos, 2000, 2002, 2004, 2005, 2008, 2009, 2010 e 2011, que apresentaram totais anuais precipitados superando de 1,6 a 3,2 vezes o valor anual da média histórica de precipitação, foram obtidos os maiores valores de perdas de solo e de geração do escoamento superficial.

Os resultados obtidos nas simulações para os cenários de uso e ocupação do solo na bacia do Riacho das Cabras (Tabela 6), revelam que os cenários 1 e 2 apresentaram valores da produção de sedimentos que superam o limite inferior de tolerância de perda de solo estabelecidos por meio da FAO (1965). Isso pode ser observado nos anos de 2002, 2004 e 2011 para o cenário 1 e, para o cenário 2, no ano de 2008. Apenas no ano de 2008, um dos mais chuvosos da série de precipitação utilizada para a realização das simulações, o limite superior de perda de solo estabelecido pela FAO (1965), para solos pouco profundos e de baixa permeabilidade, foi ultrapassado, no cenário 1, correspondendo a $4,91 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$.

Por meio dos resultados anuais de lâmina escoada e produção de sedimentos, podemos perceber que os cenários 2, 3 e 4 em comparação com o cenário 1, proporcionaram diminuição significativa do escoamento e consequentemente da produção de sedimentos. Para o cenário 4 os valores obtidos na simulação para produção de sedimentos, exceto no ano de 2009, em que o valor foi igual ao obtido para o cenário 3, foram os menores. Dessa forma, os cenários 3 e 4 poderiam ser adotados como sendo os mais adequados para atendimento dos limites de tolerância de perda de solo estabelecidos em nível mundial, porém quando avaliados os resultados obtidos por sub-bacias, em que podem ser analisados mais

detalhadamente as relações entre relevo e cobertura vegetal, estes podem não atender os limites de tolerância de perda de solo nas sub-bacias.

A Tabela 6 apresenta os valores anuais estimados para a lâmina escoada e a produção de sedimentos para a série simulada, 1998 a 2012, considerando os quatro cenários de uso e ocupação do solo.

Tabela 6 – Valores anuais: Precipitação (P), Lâmina escoada (Q) e produção anual de sedimentos (PS)

Ano		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
P (mm)		124,9	186,4	887,7	398,5	641,8	326,2	745,8	702,5	417,2	361,4	789,6	729,7	751,1	1301,6	206,7
Cenário 1	Q (mm)	0,22	0,21	62,59	6,67	103,06	8,06	115,24	60,70	53,16	12,87	238,25	67,53	110,16	308,73	10,80
	PS (ton.ha ⁻¹)	0,00	0,00	1,50	0,02	2,54	0,05	2,36	0,75	0,09	0,34	4,91	0,39	0,64	3,68	0,32
Cenário 2	Q (mm)	0,24	0,25	19,71	1,13	24,10	8,12	60,36	19,19	23,93	8,70	120,08	7,00	40,22	209,51	1,90
	PS (ton.ha ⁻¹)	0,00	0,00	0,54	0,00	0,77	0,06	1,53	0,08	0,04	0,27	2,83	0,02	0,08	1,53	0,01
Cenário 3	Q (mm)	0,25	0,25	20,32	1,14	25,90	8,13	67,65	20,25	23,95	8,70	123,46	8,6	40,54	219,07	1,91
	PS (ton.ha ⁻¹)	0,00	0,00	0,29	0,00	0,42	0,03	0,82	0,04	0,03	0,15	1,58	0,01	0,04	0,84	0,01
Cenário 4	Q (mm)	0,25	0,25	20,19	1,13	25,65	8,12	66,89	20,19	23,49	8,70	122,85	8,30	40,47	217,97	1,91
	PS (ton.ha ⁻¹)	0,00	0,00	0,19	0,00	0,27	0,02	0,54	0,03	0,02	0,10	1,05	0,01	0,03	0,56	0,00

Fonte: da própria autora

Os valores apresentados para a perda anual de solo por meio da produção de sedimentos indicam que por meio de pequenas intervenções na área da bacia, como a rotação de áreas para a pastagem, permitindo a recomposição natural da vegetação, haverá uma significativa redução da produção de sedimentos, atendendo assim, aos limites de perda de solo estabelecidos por meio da FAO (1965) para o mesmo tipo de solo predominante na área da bacia.

Se considerarmos os limites de perda de solo de 5,41 a 6,3 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ estabelecidos por Oliveira et al. (2008) as ações realizadas na área da bacia não representam um dano significativo que venha a necessitar de alguma intervenção usando práticas conservacionistas.

Quando comparamos os resultados de lâmina escoada e produção de sedimentos obtidos por meio da simulação dos três cenários alternativos de uso e ocupação do solo com o cenário atual, o cenário 1, que representa a condição de cobertura vegetal e uso do solo da época dos trabalhos de campo, percebemos que, apresentaram uma variação de – 89,6% a + 19,0% para a lâmina escoada anual e de – 100,0% a + 20,0% para a produção anual de sedimentos. A variação dos valores das lâminas escoadas simuladas por meio dos cenários de

uso e ocupação do solo é pequena, exceto no ano de 1998 em que a variação (C2/C1) foi maior quando comparado com os valores de (C3/C1) e (C4/C1). Para as variações (C3/C1) e (C4/C1), os valores para a produção de sedimentos são os menores e relativamente próximos e revelam que para os cenários 3 e 4 as simulações apresentaram redução na carga de sedimentos.

As Tabelas 7 e 8 apresentam os resultados da variação anual da vazão em lâmina (mm) e da produção anual de sedimentos (ton.ha⁻¹) quando comparados os cenários alternativos de uso e ocupação do solo em relação ao cenário atual.

Tabela 7 – Variação da lâmina escoada considerando os cenários alternativos de uso e ocupação do solo em relação ao cenário atual

Ano	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
<i>P</i> (mm)	124,9	186,4	887,7	398,5	641,8	326,2	745,8	702,5	417,2	361,4	789,6	729,7	751,1	1301,6	206,7
ΔQ (C2/C1)	9.1	19.0	-68.5	-83.1	-76.6	0.7	-47.6	-68.4	-55.0	-32.4	-49.6	-89.6	-63.5	-32.1	-82.4
ΔQ (C3/C1)	13.6	19.0	-67.5	-82.9	-74.9	0.9	-41.3	-66.6	-54.9	-32.4	-48.2	-87.3	-63.2	-29.0	-82.3
ΔQ (C4/C1)	13.6	19.0	-67.7	-83.1	-75.1	0.7	-42.0	-66.7	-55.8	-32.4	-48.4	-87.7	-63.3	-29.4	-82.3

Fonte: da própria autora

Tabela 8 – Variação da carga de sedimentos considerando os cenários alternativos de uso e ocupação do solo em relação ao cenário atual

Ano	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
<i>P</i> (mm)	124,9	186,4	887,7	398,5	641,8	326,2	745,8	702,5	417,2	361,4	789,6	729,7	751,1	1301,6	206,7
ΔSed (C2/C1)	0.0	0.0	-64.0	-100.0	-69.7	20.0	-35.2	-89.3	-55.6	-20.6	-42.4	-94.9	-87.5	-58.4	-96.9
ΔSed (C3/C1)	0.0	0.0	-80.7	-100.0	-83.5	-40.0	-65.3	-94.7	-66.7	-55.9	-67.8	-97.4	-93.8	-77.2	-96.9
ΔSed (C4/C1)	0.0	0.0	-87.3	-100.0	-89.4	-60.0	-77.1	-96.0	-77.8	-70.6	-78.6	-97.4	-95.3	-84.8	-100.0

Fonte: da própria autora

A escala gráfica utilizada para a representação da produção de sedimentos por sub-bacia foi atribuída de acordo com os limites de tolerância de perda de solo estabelecidos em nível mundial para facilitar a identificação das áreas de maior geração de perda de solo e consequentemente necessitam de algum tipo de intervenção, pois podem ultrapassar os valores recomendados pela FAO (1965) e outros pesquisadores.

No cenário 1 em que áreas de pastagens, de plantio e solo exposto abrangem maior parte da área da bacia, os limites de tolerância de perda de solo são superados na maioria da sub-bacias localizadas próximas a seção final da bacia, nos anos úmidos de 2000, 2002, 2004, 2008 e 2011. Este trecho da bacia é coberto por pastagem e solo exposto, mostrando assim, o papel da cobertura vegetal sobre a produção de sedimentos e a produção de água. A sub-bacia 24 apresenta os maiores valores de perdas de solo em toda a série simulada para o cenário 1.

Para os anos secos da série, onde os totais precipitados anuais são inferiores ao valor da média histórica, 400,0 mm, os valores estimados para produção de sedimentos não ultrapassam o limite superior de tolerância de perda de solo indicado pela FAO (1965). No ano de 1998, o mais seco de toda a série de precipitação utilizada, a produção de sedimentos

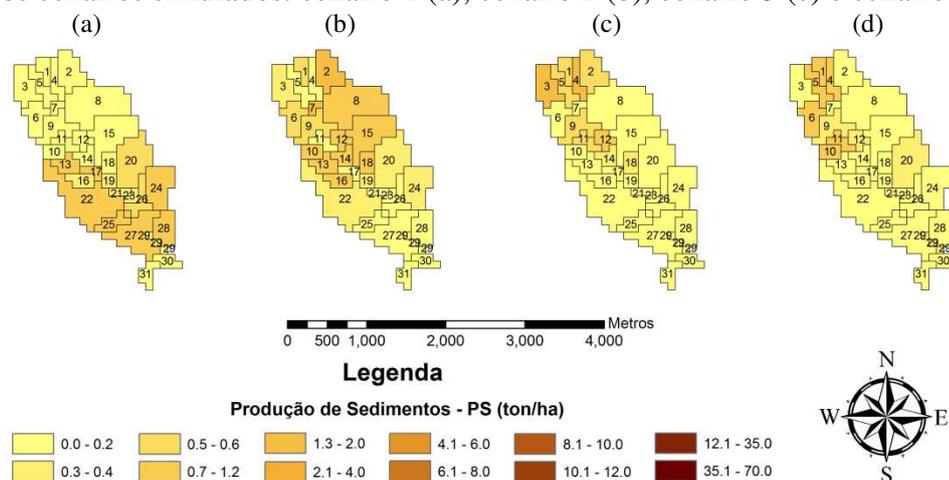
por sub-bacias em todos os cenários simulados não supera o limite inferior recomendado pela FAO (1965).

Nos anos de 2000, 2002, 2004, 2005, 2007, 2008, 2010 e 2011 valores da estimativa da produção anual de sedimentos por sub-bacia para o cenário 1 superam em até 8,58 vezes o limite superior de tolerância da perda de solo estabelecido por meio da FAO (1965) e em até 5,45 vezes o limite de tolerância estabelecido por Oliveira et al. (2008) para o tipo de solo predominante na área da bacia. O limite superior de tolerância de perda de solo por erosão estabelecido por Wischmeier e Smith (1978) para solos dos Estados Unidos foi ultrapassado em até 2,99 vezes e o limite superior de perda de solo proposto por Hudson (1995) em até 3,06 vezes.

Os cenários 3 e 4 apresentaram as maiores reduções nos valores simulados da produção de sedimentos, onde as áreas que apresentaram maior degradação ambiental com menor cobertura vegetal, denominadas de solo exposto, Range-Southwestern US (SWRN) e Honey Mesquite (MESQ) foram substituídas por vegetação do tipo arbustiva aberta e arbórea arbustiva fechada. A redução da cobertura vegetal e a declividade são os principais fatores que proporcionam maior geração do escoamento e conseqüentemente maior carga de sedimentos.

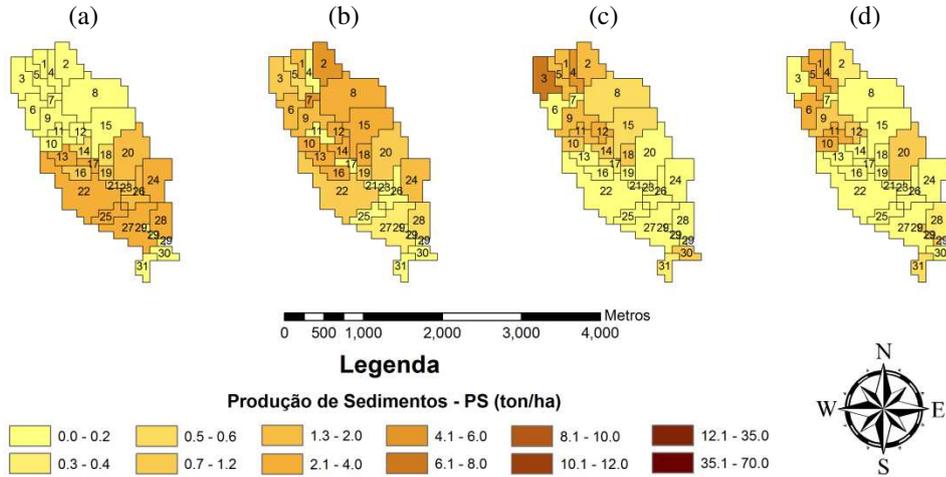
Podemos observar por meio das Figuras 5 a 19 os resultados da distribuição espacial da produção de sedimentos por sub-bacias, para os quatro cenários simulados, sendo o cenário 1, o que representa a condição atual de cobertura vegetal e o utilizado como referência para as comparações com os demais.

Figura 5 – Estimativa da produção de sedimentos na Bacia Riacho das Cabras no ano de 1998 para os cenários simulados: cenário 1 (a), cenário 2 (b), cenário 3 (c) e cenário 4 (d)



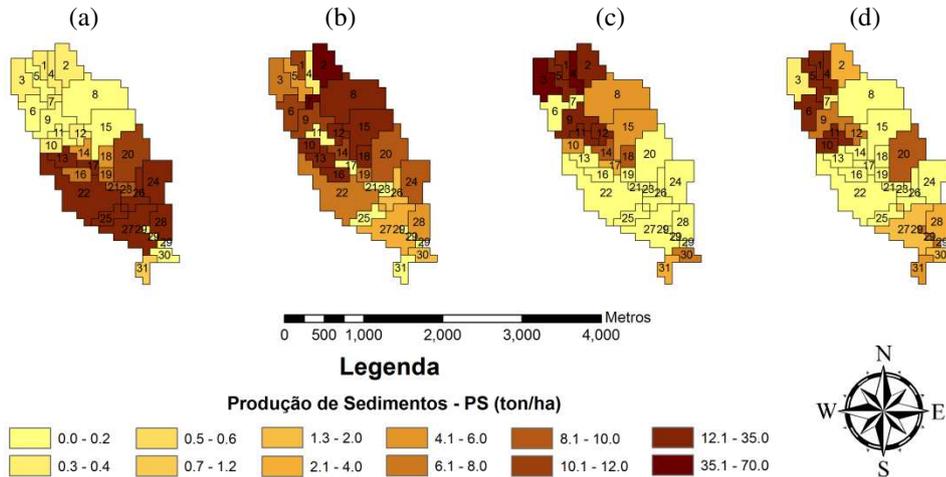
Fonte: da própria autora

Figura 6 – Estimativa da produção de sedimentos na Bacia Riacho das Cabras no ano de 1999 para os cenários simulados: cenário 1 (a), cenário 2 (b), cenário 3 (c) e cenário 4 (d)



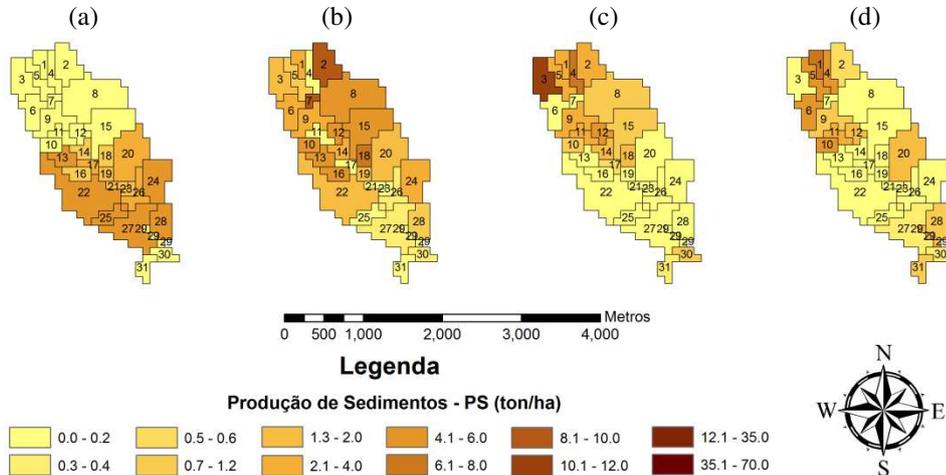
Fonte: da própria autora

Figura 7 – Estimativa da produção de sedimentos na Bacia Riacho das Cabras no ano de 2000 para os cenários simulados: cenário 1 (a), cenário 2 (b), cenário 3 (c) e cenário 4 (d)



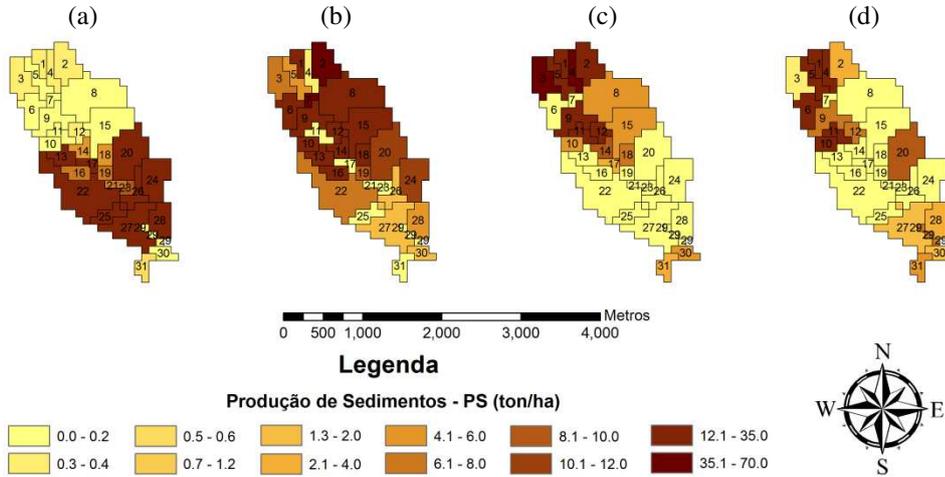
Fonte: da própria autora

Figura 8 – Estimativa da produção de sedimentos na Bacia Riacho das Cabras no ano de 2001 para os cenários simulados: cenário 1 (a), cenário 2 (b), cenário 3 (c) e cenário 4 (d)



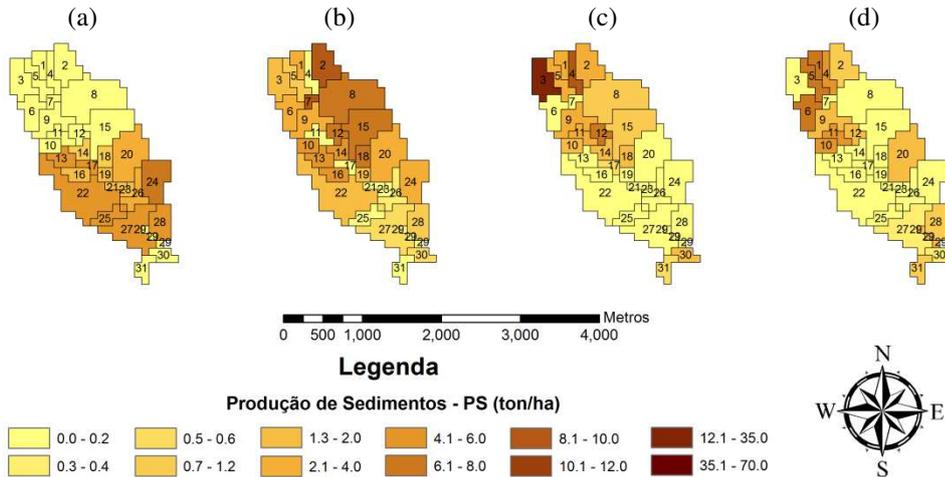
Fonte: da própria autora

Figura 9 – Estimativa da produção de sedimentos na Bacia Riacho das Cabras no ano de 2002 para os cenários simulados: cenário 1 (a), cenário 2 (b), cenário 3 (c) e cenário 4 (d)



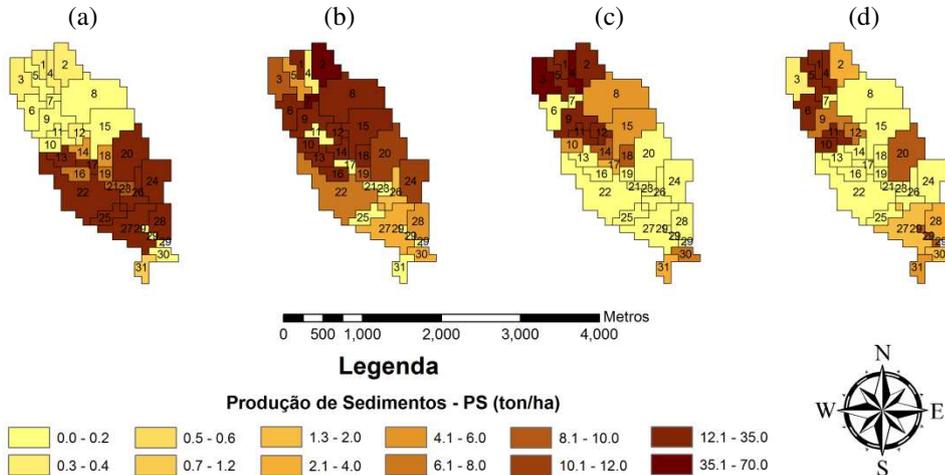
Fonte: da própria autora

Figura 10 – Estimativa da produção de sedimentos na Bacia Riacho das Cabras no ano de 2003 para os cenários simulados: cenário 1 (a), cenário 2 (b), cenário 3 (c) e cenário 4 (d)



Fonte: da própria autora

Figura 11 – Estimativa da produção de sedimentos na Bacia Riacho das Cabras no ano de 2004 para os cenários simulados: cenário 1 (a), cenário 2 (b), cenário 3 (c) e cenário 4 (d)



Fonte: da própria autora

Figura 12 – Estimativa da produção de sedimentos na Bacia Riacho das Cabras no ano de 2005 para os cenários simulados: cenário 1 (a), cenário 2 (b), cenário 3 (c) e cenário 4 (d)

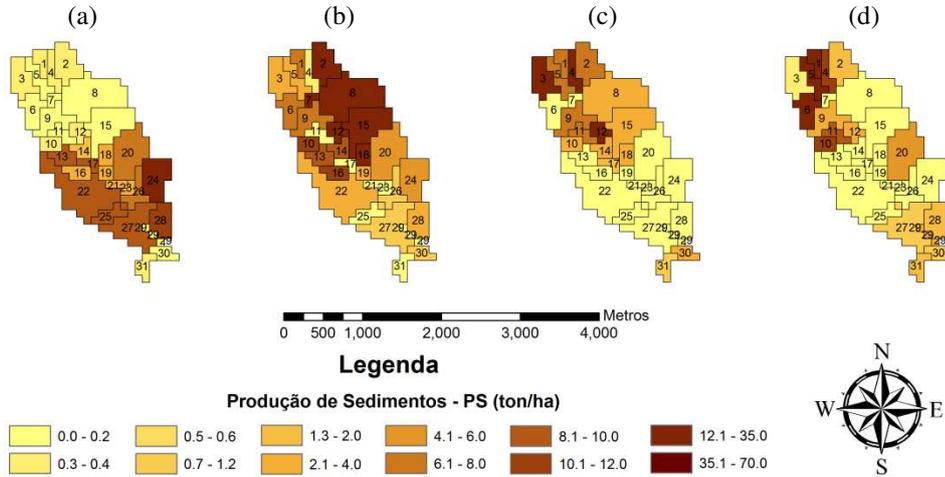


Figura 13 – Estimativa da produção de sedimentos na Bacia Riacho das Cabras no ano de 2006 para os cenários simulados: cenário 1 (a), cenário 2 (b), cenário 3 (c) e cenário 4 (d)

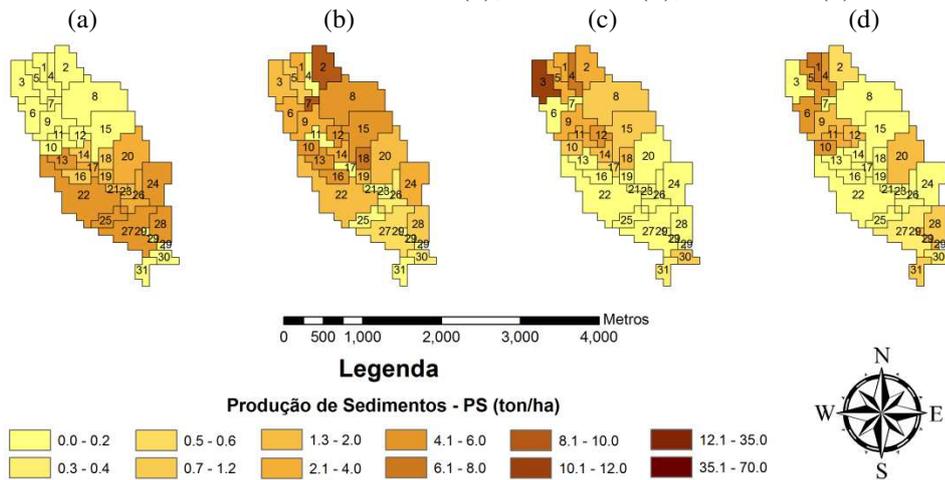


Figura 14 – Estimativa da produção de sedimentos na Bacia Riacho das Cabras no ano de 2007 para os cenários simulados: cenário 1 (a), cenário 2 (b), cenário 3 (c) e cenário 4 (d)

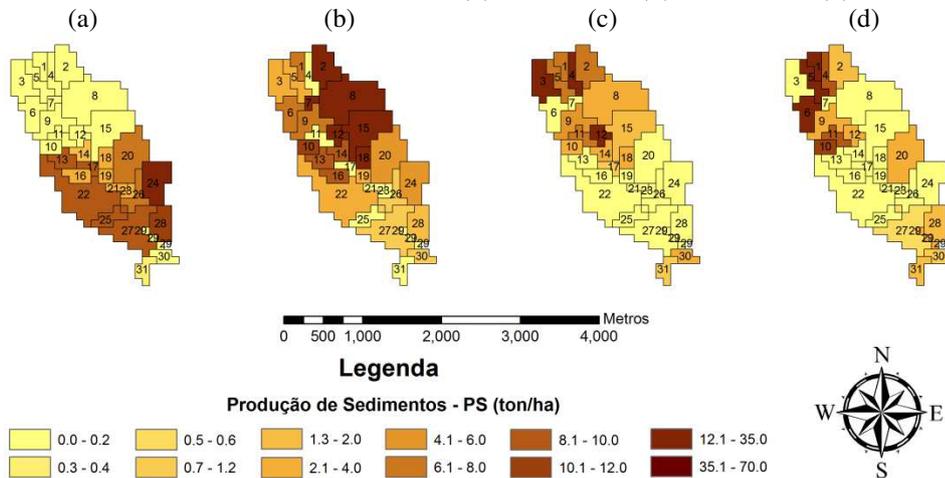


Figura 15 – Estimativa da produção de sedimentos na Bacia Riacho das Cabras no ano de 2008 para os cenários simulados: cenário 1 (a), cenário 2 (b), cenário 3 (c) e cenário 4 (d)

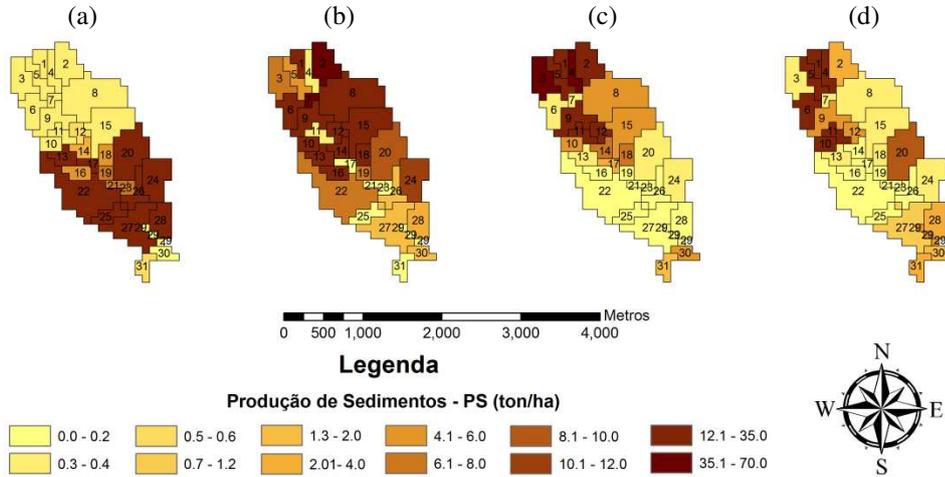


Figura 16 – Estimativa da produção de sedimentos na Bacia Riacho das Cabras no ano de 2009 para os cenários simulados: cenário 1 (a), cenário 2 (b), cenário 3 (c) e cenário 4 (d)

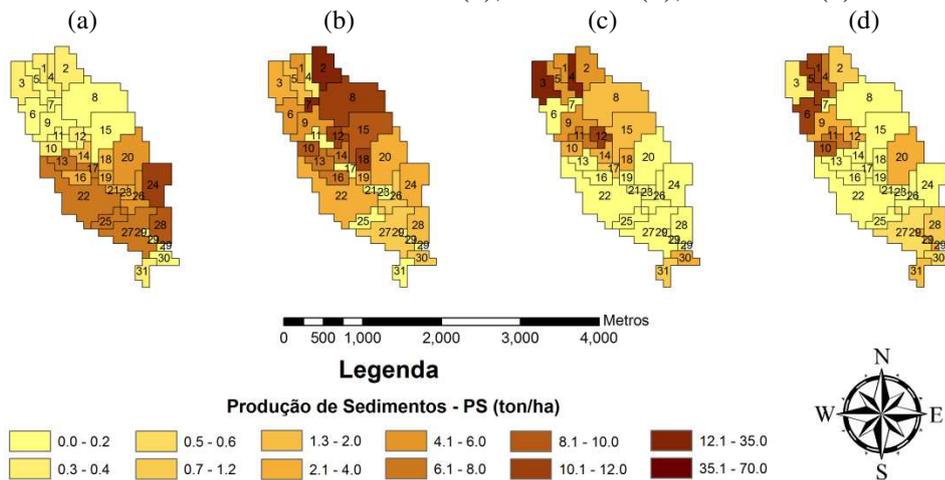


Figura 17 – Estimativa da produção de sedimentos na Bacia Riacho das Cabras no ano de 2010 para os cenários simulados: cenário 1 (a), cenário 2 (b), cenário 3 (c) e cenário 4 (d)

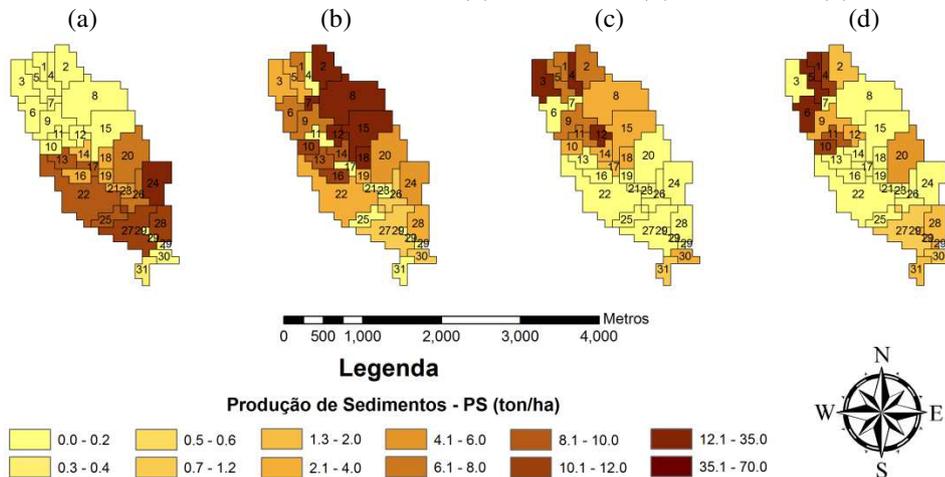
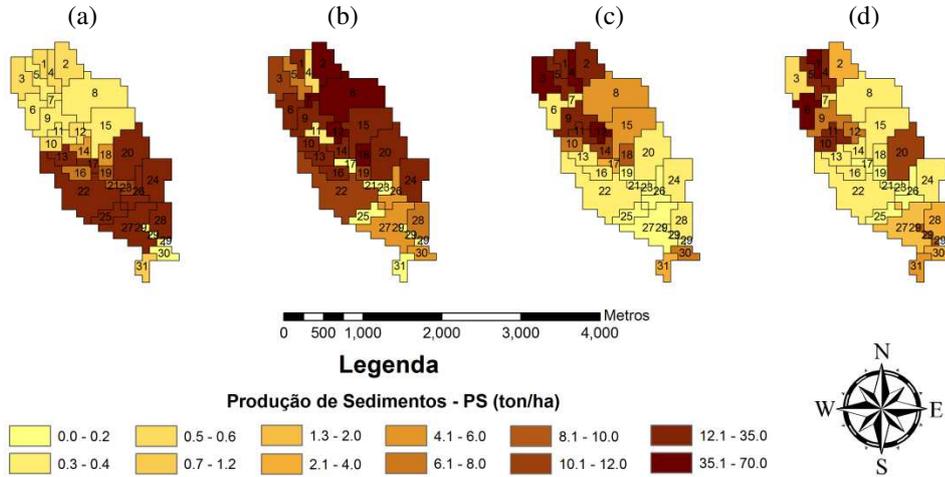
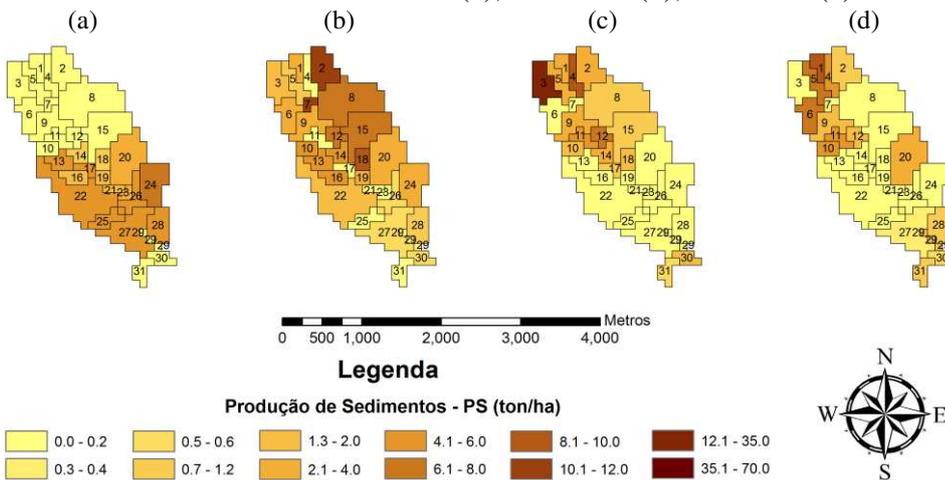


Figura 18 – Estimativa da produção de sedimentos na Bacia Riacho das Cabras no ano de 2011 para os cenários simulados: cenário 1 (a), cenário 2 (b), cenário 3 (c) e cenário 4 (d)



Fonte: da própria autora

Figura 19 – Estimativa da produção de sedimentos na Bacia Riacho das Cabras no ano de 2012 para os cenários simulados: cenário 1 (a), cenário 2 (b), cenário 3 (c) e cenário 4 (d)



Fonte: da própria autora

Com a substituição das coberturas de maior densidade vegetal por áreas de solo exposto e pastagem na região da cabeceira da bacia avaliada, a produção de sedimentos aumentou, refletindo na simulação possíveis perdas de acordo com o tipo de ocupação. Essas perdas também são influenciadas pelas maiores declividades das áreas de maior elevação.

As áreas de maior declividade da bacia próximo a cabeceira necessitam de maior atenção, pois caso sejam utilizadas de forma mais intensa do que o demonstrado por meio do cenário 1, podem passar a contribuir de forma significativa para produção de sedimentos, conforme indicam os resultados das simulações por sub-bacia nos anos úmidos da série.

6 CONCLUSÕES

As principais conclusões desta investigação sobre os efeitos das alterações de uso e ocupação na geração do escoamento e produção de sedimentos e identificação dos melhores cenários de uso e ocupação do solo na área da bacia, considerando os fatores hidrológicos, são:

- A existência de eventos de precipitação em anos úmidos e o estado da cobertura vegetal favorecem a geração do escoamento e conseqüentemente a produção de sedimentos;
- As simulações mostram forte dependência da frequência e da quantidade de precipitações anteriores na ocorrência do escoamento superficial e da produção de sedimentos;
- A variação da precipitação parece ser o principal fator para as mudanças para a geração do escoamento pois atuam diretamente sobre a condição de umidade antecedente do solo;
- O modelo de simulação SWAT foi eficaz na estimativa da produção de sedimentos representando bem as diferenças entre as alterações de cobertura do solo para a bacia;
- O modelo SWAT apresenta-se como uma importante ferramenta para o planejamento ambiental visto que podemos por meio da distribuição espacial da produção de sedimentos identificar as áreas com maior necessidade de intervenção.

7 RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se que as áreas que possuem maior quantidade de vegetação do tipo arbórea arbustiva fechada possam ser utilizadas preferencialmente para suporte alimentar dos animais e as áreas de solo exposto, de pastagem e arbórea arbustiva aberta sendo recompostas naturalmente, em pousio variável de acordo com a variabilidade climática da região, podendo este período perdurar por até cinco anos.

A utilização dos modelos de simulação ambiental, considerando cenários alternativos de uso e ocupação do solo, devem ser considerados não apenas como uma medida de avaliação da influência da cobertura do solo sobre os processos erosivos, mas também como uma ferramenta para identificação das áreas críticas de geração de perda de solo e, sendo assim, passíveis de intervenção e inserção de práticas conservacionistas de uso e ocupação do solo, com a finalidade de redução dos impactos ambientais na área de estudo.

REFERÊNCIAS

- ALCÂNTARA, H. M.; CUNHA, J. E. B. L.; GALVÃO, C. O.; TAVEIRA, I. M. L. M.; SRINIVASAN, V. S. **Uso do modelo SWAT para estimativa da produção de sedimentos como um subsídio ao planejamento ambiental**. XI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. João Pessoa, 2011.
- ALCÂNTARA, H. M. **Estabelecimento de metodologia para a conservação e Recuperação de pequenas bacias hidrográficas do semiárido**. Tese (Doutorado em Recursos Naturais). Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Campina Grande, 2013. 143p.
- ARAÚJO, K. D.; DANTAS, R. T.; ANDRADE, A. P.; PARENTE, H. N.; ALENCAR, M. L. S. Caracterização do sistema de exploração da caatinga em São João do Cariri – PB. **Geografia**. v. 19 n. 2. Londrina, 2010.
- ARAÚJO, L. E. **Análise estatística de chuvas intensas na bacia hidrográfica do Rio Paraíba**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2006.
- ARNOLD, J. G.; SRINIVASAN, R.; MUTTIAH, R. S.; WILLIAMS, J. R. Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 34, n.1, p.73- 89, 1998.
- ANDRIOLO, M. V.; SANTOS, I.; GIBERTONI, R. C.; CAMARGO, A. S. G. Calibração do modelo SWAT para a produção e transporte de sedimentos. In: **VI Simpósio Brasileiro Sobre Pequenas e Médias Centrais Hidrelétricas**, Belo Horizonte, MG, 2008.
- BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Ministério do Meio Ambiente. Ministério da Ciência e Tecnologia. Portaria Interministerial nº 1. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 2005.
- CADIER, E.; FREITAS, B. J. de.; LEPRUN, J. C. **Bacia Experimental de Sumé, PB: Instalação e primeiros resultados**. In: Anais do V Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, Blumenau: ABRH. v. 1, p. 69-90, 1983.
- CADIER, E. **Hidrologia das Pequenas Bacias do Nordeste Semi-Árido: Transposição Hidrológica**. Recife: SUDENE, DPG. PRN. HME, 1994. 448p.
- CHAVES, L. H. G.; CHAVES, I. B.; VASCONCELOS, A. C. F. **Salinidade das águas superficiais e suas relações com a natureza dos solos na Bacia Escola do açude Namorados** Boletim Técnico. BNB/UFPB. Campina Grande, 2000, p. 54.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blucher, 1999.
- CIBIN, R.; SUDHEER, K. P.; CHAUBEY, I. Sensitivity and identifiability of stream flow generation parameters of the SWAT model. **Hydrological Process**, v. 24, p. 1133- 1148, 2010.

ESHLEMAN, K. N. Hydrological consequences of land use change: a review of state-of-science. *Ecosystems and Land Use Change*. Geophysical Monograph Series 153. **The American Geophysical Union**. Washington, DC. p. 13-25, 2004.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Soil Erosion by water: some measures for its control on cultivated lands. Rome: FAO, 1965. 284p.

GALHARTE, C. A.; VILLELA, J. M.; CRESTANA, S. Estimativa da produção de sedimentos em função da mudança de uso e cobertura do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.18, n.2, p.194–201, 2014.

HUDSON, N. **Soil conservation**. 3th ed. London: Batsford Limited, 1995.

INSA- Instituto Nacional do Semiárido. Desertificação e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. INSA-PB. Campina Grande, 2011.

LELIS, T. A.; CALIJURI, M. L. Modelagem hidrossedimentológica de bacia hidrográfica na região sudeste do Brasil, utilizando o SWAT. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 5, n. 2, p. 158-174, 2010.

LOPES, W. T. A. Efeitos de escala na modelagem hidrossedimentológica na região semiárida da Paraíba. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia. Campina Grande, 2003. 174p.

MACHADO, R. E. **Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento**. Tese (Doutorado em Agronomia), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, 2002.

MACHADO, R.; VETORAZZI, C. A.; XAVIER, A. C. Simulação de cenários alternativos de uso da terra em uma microbacia utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 727-733. Viçosa, 2003.

MEDEIROS, S. S.; GHEYI, H. R.; GALVÃO, C. O.; PAZ, V. P. S. Recursos Hídricos em regiões áridas e semiáridas. Instituto Nacional do Semiárido. Campina Grande, 2011.

MEDEIROS, I. C.; XAVIER, A. P. C.; SILVA, A. M.; SANTOS, C. A. G.; SILVA, R. M. **Simulação da produção de sedimentos utilizando dados de entrada de alta resolução espacial no modelo SWAT**. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Bento Gonçalves, 2013.

MENDES, B. V. O Semiárido brasileiro. In: 2º CONGRESSO NACIONAL ESSÊNCIAS NATIVAS, 1992. **Anais do 2º Congresso Nacional sobre Essências Nativas**, São Paulo, SP, v. 4, p. 394-399, 1992.

NETO, J. G. C. **Simulação hidrossedimentológica da bacia do riacho dos Namorados com o modelo SWAT**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Campina Grande, 2011. 216p.

NETO, J. G. C.; SRINIVASAN, V. S.; RUFINO, I. A. A. Simulação hidrossedimentológica, analisando dois MDES, de duas pequenas sub-bacias no cariri paraibano utilizando o modelo swat. **Rev. Geogr. Acadêmica** v.5, n.1, ISSN 1678-7226, 2011.

OLIVEIRA, F. P.; SANTOS, D.; SILVA, I. F.; SILVA, M. L. N. Tolerância de Perda de Solo por Erosão para o Estado da Paraíba. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 8 n.2, p.60-71, 2008.

RAWS, W. J.; BRAKENSIEK, D. L.; SAXTON, K. E. Estimation of soil water properties. *Trans. ASAE* 25: 1316-1320.

SALLES, L. A. **Calibração e validação do modelo SWAT para a predição de vazões na bacia do ribeirão Pipiriau**. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Brasília, 2012.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SAMPAIO, Y. S. B.; ARAÚJO, S. B.; SAMPAIO, G. R. **Desertificação no Brasil: conceitos, núcleos e tecnologias de recuperação e convivência**. Editora Universitária. Recife, 2003.

SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, M. S. B.; SAMPAIO, Y. S. B. Impactos ambientais da agricultura no processo de desertificação no Nordeste do Brasil. **Revista de Geografia**, v. 22, n. 1, p. 92-112. Recife, 2005a.

SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, M. S. B.; SAMPAIO, Y. S. B. Propensão à desertificação no semi-árido brasileiro. **Revista de Geografia**, v. 22, n. 2. Recife, 2005b.

SANTOS, C. A. G.; SILVA, R. M.; SRINIVASAN, V. S. Análise das perdas de água e solo em diferentes coberturas superficiais no semi-árido da Paraíba. **Revista OKARA: Geografia em debate**, v.1, n.1, p. 1-152, 2007.

SANTOS, L. L.; SRINIVASAN, V. S.; ARAGÃO R. Modelagem Hidrossedimentológica no Semi-Árido Paraibano Utilizando o Modelo Wepp e o Efeito de Escala Sobre os seus Parâmetros. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, n.1, p. 53-63.2012.

SANTOS, A. P. S.; PEREZ-MARIN, A. M.; FORERO, L. F. U.; MOREIRA, J. M.; MEDEIROS, A. M. L.; LIMA, R. C. S. A.; BEZERRA, H. A.; BEZERRA, B. G.; SILVA, L. L.; *O Semiárido Brasileiro - Riquezas, Diversidades e Saberes*. 2. ed. Instituto Nacional do Semiárido. Campina Grande, 2014.

SILVA, R. M.; SANTOS, C. A. G. Estimativa da produção de sedimentos mediante uso de um modelo hidrossedimentológico acoplado a um SIG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.5, p.520–526. Campina Grande, 2008.

SILVA, R. M.; SANTOS, C. A. G.; SRINIVASAN, V. S. Perdas de água e sedimento em diferentes sistemas de manejo no semiárido da Paraíba. **Mercator** – v. 10, n. 21, p. 161-170. Fortaleza, 2011.

SOUSA, L. G. **Potencialidades locais, turismo e desenvolvimento local para o cariri paraibano**. Tese de Doutorado (Doutorado em Recursos Naturais). Universidade Federal de

Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais. Campina Grande, 2011. 148 p.

SRINIVASAN, V. S.; GALVÃO, C. O. **Bacia Experimental de Sumé: Descrição e Dados Coletados.** Campina Grande: UFCG/CNPq, 2003. 129 p.

SRINIVASAN, V. S.; SANTOS, C. A. G.; GALVÃO, C. O. Erosão hídrica do solo no semi-árido brasileiro: A experiência na bacia experimental de Sumé. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, p. 57-73, 2003.

TAVEIRA, I. M. L. M. **Avaliação de alternativas de uso do solo através de simulação hidrossedimentológica da bacia representativa de Sumé com o modelo SWAT.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2012.

TRIPATHI, M. P.; PANDA, R. K.; RAGHUWANSHI, N. S. Identification and prioritization of critical sub-watersheds for soil conservation management using the SWAT model. *Biosystems Engineering*, v. 85, n. 3, p. 365-379, 2003.

UZEIKA, T. Aplicabilidade do Modelo SWAT (Soil And Water Assessment Tool) na simulação da produção de sedimentos em uma pequena bacia hidrográfica rural. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Porto Alegre. 2009. 144p.

VALERIANO, M. **Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, 2004.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses; a guide to conservation planning. *Agriculture Handbook*, 537. Washington, D.C.: U.S. Department of Agriculture, 1978. 58p.